

## 高結合電圧ストリップの幅振動のエネルギー閉込め とそのフィルタへの応用に関する研究

著者	渡邊 博
号	631
発行年	1982
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/11580">http://hdl.handle.net/10097/11580</a>

氏 名	わた なべ ひろし 渡 邊 博
授 与 学 位	工 学 博 士
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 57 年 11 月 10 日
学 位 授 与 の 根 拠 法 規	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 42 年 3 月 平工業高等専門学校電気工学科卒業
学 位 論 文 題 目	高結合圧電ストリップの幅振動のエネルギー閉込め とそのフィルタへの応用に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 清水 洋 東北大学教授 山之内和彦 東北大学教授 池田 拓郎 東北大学助教授 中村 信良

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 緒 論

水晶や圧電磁器などを用いた圧電共振子及びフィルタは、弾性体の固有振動を利用しているために損失が小さく、温度特性や経年変化特性に優れ、且つ小形にできることから、古くから各種電子機器などに広く実用されている。近年、回路の小形化や使用周波数の拡大などに伴って極めて多くの共振子やフィルタが提案されたが、その中において弾性振動のエネルギー閉込めを利用した圧電共振子及びフィルタが大きな注目を集めている。エネルギー閉込めとは、圧電板の厚み振動のような弾性振動のエネルギーが、圧電板の中央部に設けた電極の質量負荷効果や圧電反作用などによってその電極近傍に閉込められ、板の輪郭境界の影響を受けない共振モードが生ずる現象をさしている。これを利用した圧電共振子及びフィルタは、振動エネルギーが振動体の一部分にのみ集中しているために、素子の支持やリード線の取付けが容易でこれによる特性の劣化が無く、スプリアスが少ないなどの優れた特徴がある。エネルギー閉込め共振子及びフィルタの研究はこの十数年来各方面で活発に行われ、その実用化も進んでいるが、しかしまだその適用範囲は数MHz以上の高周波領域に限られている。これは、従来のエネルギー閉込め共振子及びフィルタが板の厚み振動を用いており、板厚に比べて輪郭寸法の十分大きな板を必要とするため、これらの寸法が大きくなる数MHz以下の中波帯では実現が困難になるからである。エネルギー閉込め共振子及びフィルタの小形化及び低周波化を実現することは、従来中波帯用の圧電共振子及びフィルタとしてまだ適当なも

のが無くその開発が強く望まれているだけに、その実用的意義は大きいものがある。

本研究では、有限幅の薄い圧電ストリップに存在する幅振動に着目し、これを利用することによってエネルギー閉込め共振子及びフィルタの大幅な小形化と低周波化を実現すると共に、さらに幅振動のエネルギー閉込めの機構並びに諸特性を理論と実験により解明する。

## 第 2 章 高結合圧電板の幅振動の分散特性

幅振動には、板の長さ方向及び幅方向にそれぞれ主振動変位成分を持つ幅すべり振動と幅縦振動の 2 つがある。本章では、これらの幅振動の分散特性を理論的に解析し、その分散特性に見られる一般的な特徴を明らかにしている。幅振動の場合には、厚み振動の場合と異なり基板の厚さが波長に比べて十分小さくなるため、薄板の効果で弾性定数や圧電定数などが実効的に変化し、厚み振動とはかなり異なった分散特性を示すようになる。高次幅振動の分散特性は一般にかなり複雑になるが、次数の低い基本幅振動及び 2 次幅振動の分散特性には次のような特徴が見出された。

(1) 基本幅すべり振動は、板の厚みすべり振動とほとんど同じ低域遮断型の分散特性を示す。(2) 基本幅縦振動の分散特性は、ほとんどの圧電磁器材で高域遮断型になる。(3) 2 次の幅すべり振動及び幅縦振動の分散特性は、ほとんどの圧電磁器材で低域遮断型になる。

## 第 3 章 幅すべり振動のエネルギー閉込めとそのフィルタへの応用

本章では、長さ方向に分極された圧電ストリップにおける基本幅すべり振動のエネルギー閉込めについて検討を行った。基本幅すべり振動は一般に低域しゃ断型の分散特性を示し、そのエネルギー閉込めは周波数低下型になる。エネルギー閉込めが実現可能な周波数領域は無電極の場合と電極短絡の場合の 2 つのしゃ断周波数の間であるが、後者の電極短絡の場合の遮断周波数は、板面に設けるストリップ電極間のギャップの大きさに依存し、これを小さくすれば大きな遮断周波数の低下が得られることを示した。幅すべり振動エネルギー閉込め共振子では、電極間のギャップを大きくすると共振周波数が一定のままで反共振周波数のみが直線的に上昇するため、ギャップによって共振・反共振周波数間隔を広範囲に制御できる。この特徴は分布定数等価回路に基づく解析によっても確認された。またこの幅すべり振動共振子では、板面に設けるストリップ電極を 3 本にし、各電極間のギャップの中心を応力が 0 の位置に合わせれば、基本モードに最も近接する 3 次幅すべり振動の応答を抑圧でき、広い周波数範囲にわたってスプリアスの少ない特性が得られる。幅すべり振動を利用したエネルギー閉込めフィルタとして単一モード 3 端子フィルタを提案し、その構成法と試作結果を与えた。このフィルタは小形で多段縦続接続が容易な特徴があり、中波帯用の圧電フィルタとして実用化が期待される。

## 第 4 章 幅縦振動の周波数上昇型エネルギー閉込めとそのフィルタへの応用

前述のごとく、幅縦振動の中で最も次数の低い基本幅縦振動はほとんどの圧電磁器材で高域遮断型の分散特性を示すため、これに対しては従来用いられている普通のエネルギー閉込め法をそのまま適用できない。本章では、高域遮断型分散特性の厚み振動に対して既に開発されている周波

数上昇型エネルギー閉込め法をこの幅縦振動に対しても適用することを検討した。一般に周波数上昇型エネルギー閉込めを実現するには、板の中央の閉込め部分における振動の遮断周波数を周辺部のそれよりも上昇させる必要がある。このための方法として、板の中央部にすだれ状の電極を付け且つその両側の板の周辺部を全面電極にする方法及び未分極にする方法の2つを検討し、それぞれの場合についてエネルギー閉込め共振子の試作実験を行った。その結果いずれの場合にも、電極の幅やギャップを小さくし、その部分の遮断周波数が周辺部のそれよりも高くなるようにすれば幅縦振動の周波数上昇型エネルギー閉込めが実現され、きれいな共振応答が得られることを確認した。この共振子では、板面に設ける電極を3次幅縦振動の応力分布を考慮して適当な構造にすればその応答を抑圧でき、広い周波数範囲にわたってスプリアスの少ない特性が得られる。ここでは幅縦振動共振子の分布定数等価回路を理論的に導出し、それを用いて容量比特性の解析を行った。その結果、電極の寸法を適当にすれば10~20程度の小さな容量比が得られることがわかった。幅縦振動の周波数上昇型エネルギー閉込めを利用したフィルタとして、はしご形フィルタ、単一モード3端子フィルタ及び二重モードフィルタを提案し、数MHz以下の中波帯用のフィルタとして期待できることを示した。

## 第5章 複素分枝によるエネルギー閉込めとそのフィルタへの応用

前章で述べた幅縦振動のように、高域遮断型の分散特性を持つ振動の場合には、一般にその分散曲線の実数分枝に停留点が存在し、それから低周波側につながる分枝は複素分枝になる。本章では、幅縦振動の場合について、このような複素分枝が関与したエネルギー閉込めの可能性を理論と実験の両面から追究し、この新しい型の閉込めが実際に起こり得ることを明らかにすると共に、その閉込めの機構並びに諸特性を解明している。この複素分枝による閉込めは、従来の閉込めと比較し次のような特徴がある。(1)分散曲線の4本の分枝、即ち2本の複素分枝と2本の実数(または虚数)分枝が関与している。(2)分散曲線の2つの停留点周波数の間で実現される。(3)エネルギー閉込めモードの共振周波数スペクトラムには特異な波打ちが生じ、その波打ちの付近で最も強い共振応答が得られる。(4)無電極部の変位の減衰には周期的な波打ちが伴う。

本章では、さらに複素分枝によるエネルギー閉込めを利用した二重モードフィルタの理論解析を行い、対称及び斜対称エネルギー閉込めモードの諸特性を明らかにすると共に、これらの結果を基に実際にフィルタの試作実験を行い、小形で特性の良好な中波帯用圧電フィルタが得られることを示している。

## 第6章 高次幅振動の利用による短波帯用エネルギー閉込め共振子及びフィルタの小形化

本章では、数MHz以上の短波帯で用いられるエネルギー閉込め共振子及びフィルタの大幅な小形化を実現するため、圧電ストリップの高次幅振動の利用について検討した。高次幅振動の中で実用的に有用なのは、次数のあまり高くない2次~4次の幅振動である。これらの幅振動を用いたエネルギー閉込め共振子の各種構成法を明らかにし、その試作結果を与えた。これらの共振子では、

一般に次数の異なる他の幅振動がスプリアスとなるが、それらの応力分布を考慮し板面に設ける電極の構造を適当にすればその応答を抑圧でき、広い周波数範囲にわたってスプリアスの少ない特性が得られることを示した。高次幅振動を用いたエネルギー閉込めフィルタとして単一モード3端子フィルタ及び二重モードフィルタの構成法を明らかにし、3次幅縦振動を用いた4.5 MHz及び10.7 MHzフィルタの試作結果を示した。これにより、板の厚み振動を用いた従来のものに比べ、素子寸法が著しく小さく且つ特性の良好な短波帯用エネルギー閉込めフィルタの実現が可能になった。

## 第7章 結 論

本研究では、エネルギー閉込め共振子及びフィルタの大幅な小形化と低周波化を実現することを目的に、高結合圧電ストリップの幅振動のエネルギー閉込めとそのフィルタへの応用について検討を行った。即ち、圧電ストリップに存在する幅すべり振動及び幅縦振動に対して電極の圧電反作用を利用する種々のエネルギー閉込め法を適用し、これらの幅振動のエネルギー閉込めを実現すると共に、理論と実験によりその閉込めの機構並びに諸特性を解明し、さらに幅振動を用いた新しい型のエネルギー閉込め共振子及びフィルタの構成法と試作結果を示してその実用化の可能性を明らかにした。本研究によって開発された各種のエネルギー閉込め共振子及びフィルタは、数百kHzから十数MHzの周波数帯における最も有力な共振子及びフィルタとして今後広範囲に使用されていくことが期待される。本論文で示した種々の理論解析及び実験の結果は、幅振動に限らず他の振動に対しても応用が可能であり、今後の弾性振動研究の発展に貢献し得るものと考えらる。

## 審 査 結 果 の 要 旨

圧電板における弾性波のエネルギー閉込め現象を利用した圧電共振子及びフィルタは、不要振動が少ない、機械的支持などによる特性の劣化が無い、モノリシック化が可能である、などの優れた特徴を有するため、広く実用されている。しかし、これらの素子はいずれも板の厚み振動を用いているため数MHz以下の周波数帯では寸法が過大となり、実用化は困難とされていた。

著者は、薄い圧電ストリップの幅振動に着目し、そのエネルギー閉込めの機構と諸特性を解明すると共に、これを利用することによって共振子及びフィルタの小形化と低周波化を実現した。本論文はこれらの成果をまとめたもので全文7章よりなる。

第1章は緒論である。第2章では、圧電ストリップ中を伝搬する幅すべり振動と幅縦振動の分散特性を各種の圧電材料について理論解析し、これらを低域遮断型と高域遮断型に分類整理してその特徴を明らかにしている。

第3章では、圧電反作用による遮断周波数低下効果を利用した基本幅すべり振動のエネルギー閉込め法を検討し、これを利用した共振子の諸特性を解析している。又、中波帯用単一モード3端子フィルタを提案・試作し、従来のものに比べて1/10以下に小形化されることを実証している。

基本幅縦振動の分散特性は殆どの圧電材で高域遮断型になるが、第4章では、そのエネルギー閉込めを可能にするため、電極構造や分極処理により遮断特性を制御する方法を検討し、小形で不要振動応答の少ない中波帯用エネルギー閉込め共振子およびフィルタを実現している。

第5章では、基本幅縦振動のような高域遮断型分散特性を持つ振動の場合には、分散曲線の停留点付近で、複素分枝が関与した新しい型のエネルギー閉込め現象が起りうることを見出し、その機構及び諸特性を解明している。これは、従来のものと異なるエネルギー閉込め現象の存在を初めて指摘したもので、極めて重要な成果である。

第6章は、高次の幅振動を利用したエネルギー閉込めに関するもので、電極構造による低次モードの抑圧法を与え、厚み振動を用いた従来のものに比べて著しく小形の短波帯用圧電フィルタが実現できることを実証している。第7章は結論である。

以上要するに本論文は、薄い圧電ストリップの幅振動に対するエネルギー閉込めの方法を与え、その機構並びに諸特性を理論と実験により解明して多くの重要な知見を与えると共に、幅振動の利用によって従来困難とされてきたエネルギー閉込め共振子及びフィルタの大幅な小形化と低周波化を可能にしたもので、通信工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。